

Relaciones entre las abundancias del bacterioplancton y del fitoplancton en tres ecosistemas lénticos de los Andes Colombianos

Amparo Canosa¹ & Gabriel Pinilla²

- 1 Universidad Jorge Tadeo Lozano. Laboratorio de Microbiología. Carrera 4 No. 22-61. Bogotá, Colombia. Fax: (57) 1-2826197; amparo.canosa@utadeo.edu.co
- 2 Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Bogotá, Colombia. Fax: (57) 1-3165310; gapinillaa@unal.edu.co

Recibido 27-VIII-2001. Corregido 19-IV-2006. Aceptado 13-X-2006.

Abstract: Relations between bacterioplankton and phytoplankton abundance in three lentic ecosystems in the Colombian Andes. We analyzed relations among phytoplankton and total bacterioplankton fractions in three lentic ecosystems (Neusa and Prado dams, and Fúquene lagoon) with different physicochemical characteristics, in the Andes of Colombia. Samplings were made in three sites of each water body during three surveys. Neusa dam (meso to oligotrophic) had the lowest bacterial concentration; Prado dam (eutrophic) had a high bacterial and algal abundance, and the Fúquene lagoon (mesotrophic) had lower concentrations of phytoplankton but a high relative concentration of bacteria, probably because of its particular conditions: high organic matter and low nutrient levels in the water. There was a negative correlation of total bacterioplankton with the phytoplankton (Pearson=-0.4479, $p=0.019$, $n=27$) and a positive correlation between phytoplankton and heterotrophic bacteria (Pearson=0.3866, $p=0.062$, $n=24$) and between total bacterioplankton and DBO_5 (Pearson=0.4088, $p=0.034$, $n=27$). Apparently, total bacterioplankton and phytoplankton were not coupling, but cultivable bacteria and the phytoplankton had some degree of relationship. *Rev. Biol. Trop.* 55 (1): 135-146. Epub 2007 March. 31.

Key words: Bacterioplankton, phytoplankton, heterotrophic bacteria, lentic ecosystems, Andean region, Colombia.

En diversos ecosistemas acuáticos se ha encontrado un acoplamiento entre microalgas y bacterias, en el cual la liberación de carbono orgánico disuelto (COD) por parte del fitoplancton controla parcialmente el crecimiento del bacterioplancton; éste a su vez libera nutrientes utilizables por las microalgas, lo que favorece su desarrollo (Currie 1990, Cole *et al.* 1993, Coveney and Wetzel 1995, del Giorgio *et al.* 1997, Havens *et al.* 2000). Dicha relación depende de factores que afectan a las dos comunidades, como temperatura y disponibilidad de fósforo, e influye sobre su productividad, abundancia y composición. Se ha demostrado que la abundancia y producción bacterianas están relacionadas positivamente con la producción primaria del fitoplancton (Cole and Caraco 1993) y que

el bacterioplancton utiliza gran parte de las proteínas y aminoácidos provenientes del fitoplancton (Rosenstock and Simon 2001). Sin embargo, estos resultados no son concluyentes; otros autores han encontrado que la respuesta de cada comunidad es independiente, ya que el bacterioplancton está limitado por el fósforo y el fitoplancton por el nitrógeno (Vrede *et al.* 1999).

En la región neotropical, en la cual parecen existir densidades más constantes de bacterias en el agua que en otras latitudes (Canosa and Pinilla 2001), no se ha evaluado este acoplamiento. En Colombia el fitoplancton se ha usado como indicador biológico y ecológico (Duque and Donato 1992, Roldán 1992, Pinilla 1998, Ramírez 2000), debido a que las microalgas responden a gradientes físicos y

químicos. Aunque las bacterias se han estudiado con menos frecuencia, cada vez se reconoce más su importancia en los procesos metabólicos de los ecosistemas acuáticos (Canosa and Pinilla 2001, Canosa 2003, Goecke *et al.* 2004). En el presente trabajo se buscó conocer si existe un posible acople entre las abundancias del fitoplancton y del bacterioplancton en tres ambientes lénticos con diferentes características ubicados en los Andes colombianos. Además, se investigaron las posibles relaciones entre las densidades de dichas comunidades y las características físicas y químicas del agua de los ambientes estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo: El embalse de Neusa se ubica a 05°08' N, 75°58' W, el embalse de Prado a 03°45' N, 74°56' W y la laguna de Fúquene a 05°28' N, 73°44' W. Todos los cuerpos de agua están situados en la región oriental de la cordillera de los Andes. Neusa es oligo a mesotrófico (Canosa and Pinilla 1999), Prado es eutrófico (Márquez and Guillot 1988) y la laguna de Fúquene es hipereutrófica (Duque 1996) (Fig. 1). La recolección de los datos se realizó en 1997; Neusa se visitó en febrero, abril y mayo y Prado y Fúquene en febrero, abril y junio. Se colectó agua superficial en tres sitios (presa, centro y cola) de cada embalse. En la laguna se muestreó el afluente principal, el centro y el efluente.

Variables fisicoquímicas: Los análisis en campo incluyeron mediciones de oxígeno disuelto, gas carbónico, temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos con equipos portátiles y transparencia con disco Secchi. En

el laboratorio se determinaron nutrientes (ortofosfatos, amonio, nitritos, nitratos y nitrógeno total), iones (potasio, sodio, hierro, calcio, sulfatos), alcalinidad, dureza, sólidos suspendidos y demanda biológica de oxígeno (DBO₅). En todos los casos se siguieron los métodos propuestos por la American Public Health Association (1992).

Poblaciones bacterianas: En cada sitio se tomaron dos muestras directas de agua superficial (0.5 m) en frascos estériles; una se utilizó inmediatamente en el laboratorio para cuantificar las bacterias heterótrofas por siembra en superficie con agar para recuento (Merck, 5463) según las recomendaciones de APHA (1992); la otra se fijó en campo con glutaraldehído buferado al 2.5 %, se mantuvo en oscuridad, refrigerada a 4 °C y se usó para el conteo total de bacterias con la técnica de epifluorescencia (Kepner and Pratt 1994). Se utilizó como fluorocromo naranja de acridina



Fig. 1. Localización de los sitios de muestreo en Colombia, Sur América.

Fig. 1. Location of the sampling sites in Colombia, South America.

en una concentración de 100 µg ml⁻¹ y un tiempo de contacto de cinco minutos, se usaron filtros Nucleopore negros de 0.2 µm de diámetro de poro y un microscopio de epifluorescencia Olympus B-Max-60, en cada filtro se contaron al menos 200 células.

Fitoplancton: Las muestras se tomaron a 0.5 m de profundidad con una botella α -horizontal de 2.5 l. Se utilizó una submuestra fijada con solución transeau (alcohol-formol-agua en proporción 3:1:6) para la identificación de las microalgas; otra se fijó con lugol concentrado y se empleó para la enumeración de las algas (Whitford and Schumacher 1968). La cuantificación se realizó en un microscopio invertido según el método de Lund *et al.* (1958) en cámaras de sedimentación Utermöhl de 10 ml. Para la determinación espectrofotométrica en extracto de acetona de la clorofila *a* (APHA 1992) se filtraron 500 ml de agua en el ecosistema oligotrófico y 200 ml en los eutróficos.

Análisis estadístico: Para establecer las relaciones entre las variables físicas, químicas y biológicas se utilizó la correlación de Pearson; la comparación entre la abundancia bacteriana total entre los tres ecosistemas se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Blalock 1979). El análisis de clasificación de las especies fitoplanctónicas de todos los cuerpos de agua se hizo con el índice de Bray-Curtis mediante la técnica de unión simple (Hammer *et al.* 2001).

RESULTADOS

Fisicoquímica del agua: Prado es un embalse profundo, cálido (360 msnm) y eutrófico con más de 0.03 mg l⁻¹ de ortofosfatos (Cuadro 1). Fúquene es una laguna somera, de aguas frías (2 500 msnm), turbias y mineralizadas (conductividad, alcalinidad y dureza altas), con hierro y gas carbónico ligeramente elevados; según Duque (1996) es hipereutrófica, pero nuestros datos señalaron que su condición fluctuó entre oligo y mesotrófica, seguramente por el crecimiento exagerado de

CUADRO 1

Promedios de los parámetros fisicoquímicos en los cuerpos de agua estudiados. Los datos corresponden a tres sitios de cada ecosistema registrados en los tres muestreos realizados

TABLE 1

Physicochemical parameters means in the water bodies studied. Data belong to three places in each ecosystem registered during the three surveys realized

Variable	Neusa	Fúquene	Prado
Profundidad promedio (m)	13.33	2.2	35.98
Transparencia Secchi (m)	2.2	0.9	1.6
Temperatura (°C)	14.1	15.9	28.5
pH	6.98	7.02	7.15
CO ₂ mg/l	5.17	10.6	5.37
O ₂ Disuelto mg/l	4.9	4.5	5.1
Conductividad µS/cm	59.4	111.6	53.2
Sólidos Disueltos mg/l	34	50	31
Sólidos Totales mg/l	642.7	55.8	45.3
Sólidos Suspendidos mg/l	3.3	5.8	20.7
Nitratos mg/l	0.577	0.223	0.206
Nitritos mg/l	0.037	0.006	0.003
Amonio mg/l	0.167	0.318	0.316
Nitrógeno Total mg/l	8.85	5.71	7.99
Potasio mg/l	0.677	0.933	0.633
Hierro mg/l	0.265	0.833	0.09
Calcio mg/l	4.08	7.3	5.24
Sodio mg/l	2.15	3.09	1.02
Sulfato mg/l	1.11	9.55	1.44
Ortofosfatos mg/l	0.015	0.02	0.034
Dureza Ca y Mg mgCaCO ₃ /l	16.02	29.89	16.52
Alcalinidad	9.62	26.27	13.01
Clorofila <i>a</i> mg/m ³	8.79	4.047	10.73
DBO ₅ mg/l	32.69	75.43	67.56

macrófitas que acumulan los nutrientes en su biomasa. Neusa es un lago frío (3 000 msnm), mesotrófico para los nitratos y oligotrófico para los demás nutrientes. Según la DBO₅, Fúquene y Prado, presentaron mayor materia orgánica

que Neusa. Las aguas superficiales fueron oxigenadas y neutras en todos los cuerpos de agua (Cuadro 1).

Abundancia bacteriana: El conteo bacteriano total promedio fue de 84×10^4 bacterias ml^{-1} (Cuadro 2), con números que oscilaron entre 19×10^4 y 23×10^5 bacterias ml^{-1} . Las densidades fueron similares en los tres cuerpos de agua, a pesar de que ecológicamente son diferentes. Prado tuvo abundancias algo mayores (93×10^4 bacterias ml^{-1}) y Neusa presentó las menores (75×10^4 bacterias ml^{-1}). Los heterótrofos (conteo en placa) fueron siempre menos abundantes que las poblaciones totales (epifluorescencia). El promedio de heterótrofos en todos los cuerpos de agua fue de 14×10^2 UFC ml^{-1} ; Neusa tuvo el mayor número, a pesar de su menor temperatura; en Prado y Fúquene, más contaminados, este grupo presentó valores relativamente bajos (Cuadro 2).

Composición y abundancia fitoplanctónica: En Prado se encontraron 36 especies de fitoplancton; la densidad promedio fue $2\,077$ células ml^{-1} , con predominio de las zigofíceas, las clorofíceas y las cianobacterias (Fig. 2). En Neusa dominaron las diatomeas debido a un florecimiento de *Synedra* sp. ($9\,800$ células ml^{-1}); en este embalse se registraron 63 especies y una densidad promedio de $2\,917$ células ml^{-1} . Fúquene tuvo la mayor cantidad de especies (75) y la menor densidad promedio (291 células ml^{-1}); las clorofíceas, euglenofíceas y cianobacterias fueron las mejor representadas. En el cuadro 3 se presenta la lista completa de especies fitoplanctónicas halladas en cada cuerpo de agua. El dendrograma de similaridad con base en la composición de especies (Fig. 3) mostró un agrupamiento claro de cada ecosistema. Solo la laguna de Fúquene y el embalse de Neusa presentan cierto grado de semejanza.

CUADRO 2

Conteo bacteriano total (bacterias ml^{-1}) y de heterótrofos (UFC ml^{-1}) en cada cuerpo de agua, en los tres muestreos y en cada estación

TABLE 2
Total bacterial (bacteria ml^{-1}) and heterotrophs count (cfu ml^{-1}) in each water bodies at three samplings and at each station

Cuerpo de agua		Neusa		Fúquene		Prado	
Muestreo	Estación	CT	HT	CT	HT	CT	HT
I	1	23×10^5	33×10^2	10×10^5	-	13×10^5	13×10^2
	2	14×10^5	70	15×10^5	-	10×10^5	70×10
	3	13×10^5	23×10	51×10^4	-	14×10^5	30×10
	Promedio	16×10^5	12×10^2	10×10^5	-	12×10^5	76×10
II	1	17×10^4	14×10^2	12×10^5	16×10^2	87×10^4	54×10^2
	2	19×10^4	85×10	93×10^4	20×10	77×10^4	10×10^2
	3	19×10^4	11×10^2	15×10^5	95×10	11×10^5	75×10
	Promedio	18×10^4	11×10^2	12×10^5	92×10	91×10^4	23×10^2
III	1	36×10^4	20×10^2	36×10^4	35×10^2	84×10^4	15×10^2
	2	26×10^4	23×10^2	22×10^4	35×10	71×10^4	85×10
	3	57×10^4	36×10^2	26×10^4	35×10	38×10^4	35×10
	Promedio	39×10^4	26×10^2	28×10^4	14×10^2	64×10^4	90×10
Promedio total		75×10^4	17×10^2	83×10^4	12×10^2	93×10^4	14×10^2

CT: Conteo Total HT: Heterótrofos

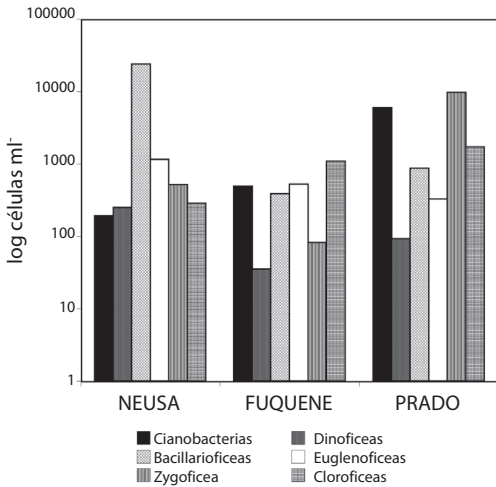


Fig. 2. Abundancias del fitoplancton en los ecosistemas estudiados.

Fig. 2. Phytoplankton abundances in the ecosystems studied.

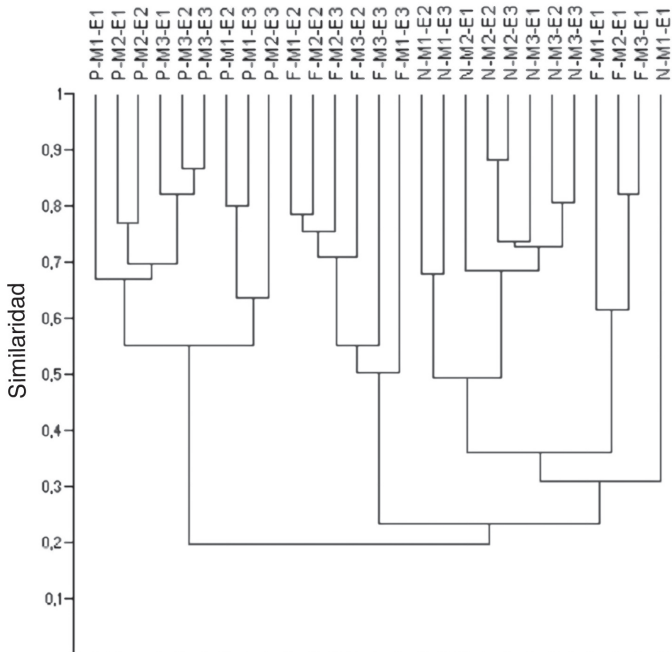


Fig. 3. Dendrograma de clasificación de los muestreos en cada ecosistema, basado en la composición de especies del fitoplancton. P= Prado, F= Fúquene, N= Neusa, M= Muestreo, E= Estación.

Fig. 3. Cluster analysis of samples in each ecosystem, based in phytoplankton species composition. P= Prado, F= Fúquene, N= Neusa, M= Sample, E= Site.

Concentración de clorofila *a*: A excepción del primer muestreo, en Neusa la clorofila *a* (Fig. 4) fue moderadamente alta (7.2 a 11.2 mg m⁻³); en Fúquene se observaron concentraciones bajas a moderadas (entre 1.3 y 6 mg m⁻³) y en Prado fueron mayores (6.4 a 15.8 mg m⁻³). En embalses colombianos de mayor profundidad los rangos de clorofila son relativamente bajos (0.01 a 7.7 mg m⁻³ (Pino 1995), pero similares a los hallados en Neusa y Prado. En Fúquene Gómez and Pinilla (1996) registraron concentraciones de 18.58 mg m⁻³, mucho mayores que las encontradas en este estudio, lo que evidenció la disminución del fitoplancton de la laguna con respecto a épocas anteriores.

Relaciones del bacterioplancton con el fitoplancton y con el ambiente fisicoquímico:

Al analizar el conjunto de datos de todos los ecosistemas, se encontraron correlaciones significativas entre las abundancias del fitoplancton y del bacterioplancton total (Pearson= -0.4479, p=0.019, n= 27) y entre el bacterioplancton total y la DBO₅ (Pearson= 0.4088, p=0.034, n= 27). También se halló una correlación positiva entre el fitoplancton y las bacterias heterótrofas, pero a un nivel de significancia del 90% (Pearson= 0.3866, p=0.062, n= 24). La relación gráfica entre el conteo bacteriano total y la concentración de clorofila *a* (Fig. 5) indicó una mayor abundancia de bacterias y de clorofila *a* en el embalse de Prado. Fúquene mostró también abundancias bacterianas altas pero menor concentración de clorofila *a*, debido a una posible limitación del crecimiento algal por ortofosfatos. Prado y Fúquene fueron los sistemas con más materia orgánica. En Neusa hubo mayor concentración de clorofila *a*, pero menos bacterias.

CUADRO 3

Especies del fitoplancton presentes en la laguna de Fúquene y en los embalses de Neusa y Prado

TABLE 3

Phytoplanktonic species present in Fúquene lagoon and in Neusa and Prado dams

División	Especie	Fúquene	Neusa	Prado
Cianobacteria	<i>Microcystis</i> sp1	X		
Cianobacteria	<i>Microcystis</i> sp2		X	
Cianobacteria	<i>Chroococcus</i> sp1		X	X
Cianobacteria	<i>Dactylococcopsis</i> sp1		X	
Cianobacteria	<i>Dactylococcopsis</i> sp2			X
Cianobacteria	<i>Merismopedia glauca</i>		X	
Cianobacteria	<i>Spirulina</i> sp1	X		
Cianobacteria	<i>Oscillatoria</i> af. <i>borneti</i>	X		
Cianobacteria	<i>Oscillatoria</i> cf. <i>planctonica</i>	X		
Cianobacteria	<i>Oscillatoria</i> sp2	X		
Cianobacteria	<i>Lingbia birgei</i>	X		
Cianobacteria	<i>Anabaena sphaerica</i>	X		
Cianobacteria	<i>Anabananopsis raciborski</i>			X
Cianobacteria	<i>Anabaena</i> sp1		X	
Dinoficea	<i>Peridinium limbatum</i>	X		
Dinoficea	<i>Peridinium cinctum</i>	X	X	X
Dinoficea	<i>Peridinium umbonatum</i>			X
Dinoficea	<i>Gimnodinium</i> sp1		X	
Dinoficea	<i>Gimnodinium</i> sp2		X	X
Bacillarioficea	<i>Synedra</i> sp1	X	X	X
Bacillarioficea	<i>Cimbella</i> sp1		X	
Bacillarioficea	<i>Cymbella</i> sp2	X	X	
Bacillarioficea	<i>Gyrosigma</i> sp1	X	X	
Bacillarioficea	<i>Gomphonema</i> sp1		X	
Bacillarioficea	<i>Surirella linearis</i>		X	
Bacillarioficea	<i>Meridion circulare</i>		X	
Bacillarioficea	<i>Stauroneis</i> sp1	X	X	
Bacillarioficea	<i>Aulacoseira</i> sp1	X		
Bacillarioficea	<i>Melosira</i> sp1	X	X	
Bacillarioficea	<i>Meridion</i> sp1	X		
Bacillarioficea	<i>Tabellaria fenestrata</i>	X		
Bacillarioficea	<i>Tabellaria flocculosa</i>	X	X	
Xantoficea	<i>Istmochloron lobulatum</i>	X	X	
Crisoficea	<i>Dynobrion</i> sp1		X	

CUADRO 3

Especies del fitoplancton presentes en la laguna de Fúquene y en los embalses de Neusa y Prado

TABLE 3

Phytoplanktonic species present in Fúquene lagoon and in Neusa and Prado dams

División	Especie	Fúquene	Neusa	Prado
Euglenofícea	<i>Euglena acus</i>	X	X	
Euglenofícea	<i>Euglena spathirrhyncha</i>	X		
Euglenofícea	<i>Euglena oxyuris</i>	X		
Euglenofícea	<i>Euglena cf. variabilis</i>	X		
Euglenofícea	<i>Phacus longicauda</i> var. <i>longicauda</i>	X		
Euglenofícea	<i>Phacus cf. prunoideus</i>	X	X	
Euglenofícea	<i>Phacus af. minutus</i>	X		
Euglenofícea	<i>Phacus</i> sp1	X		
Euglenofícea	<i>Lepocinclis</i> sp1	X	X	X
Euglenofícea	<i>Strombomonas urceolata</i>	X	X	
Euglenofícea	<i>Trachelomonas volvocina</i>	X		X
Euglenofícea	<i>Trachelomonas sydneyensis</i> var. <i>grandicollis</i>	X	X	
Euglenofícea	<i>Trachelomonas armata</i> var. <i>armata</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas lemmermannii</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas hispidia</i>			X
Euglenofícea	<i>Trachelomonas hispidia</i> var. <i>hispidia</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas crebea</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas af. pulcherrima</i> var. <i>latior</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas cervicula</i>	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas</i> sp1	X		
Euglenofícea	<i>Trachelomonas</i> sp2	X	X	
Euglenofícea	<i>Trachelomonas</i> sp4		X	
Zigofícea	<i>Cosmarium af. naegelianum</i>	X	X	
Zigofícea	<i>Cosmarium portianum</i> var. <i>brasiliense</i>		X	
Zigofícea	<i>Closterium kuetzingii</i>	X	X	X
Zigofícea	<i>Cosmarium</i> sp1	X		
Zigofícea	<i>Cosmarium</i> sp2	X	X	
Zigofícea	<i>Cosmarium</i> sp3		X	
Zigofícea	<i>Cosmarium</i> sp7			X
Zigofícea	<i>Cosmarium</i> sp8			X
Zigofícea	<i>Closterium</i> sp1	X	X	X
Zigofícea	<i>Closterium</i> sp2	X	X	X
Zigofícea	<i>Closterium</i> sp3	X	X	X
Zigofícea	<i>Closterium</i> sp4			X

CUADRO 3

Especies del fitoplancton presentes en la laguna de Fúquene y en los embalses de Neusa y Prado

TABLE 3

Phytoplanktonic species present in Fúquene lagoon and in Neusa and Prado dams

División	Especie	Fúquene	Neusa	Prado
Zigofícea	<i>Desmidium cf. cuadrangulare</i>		X	
Zigofícea	<i>Pleurotaenium</i> sp1	X	X	
Zigofícea	<i>Staurastrum</i> af. <i>natator</i>	X	X	
Zigofícea	<i>Staurastrum glabrum</i>	X		
Zigofícea	<i>Staurastrum leptacantum</i>	X		
Zigofícea	<i>Staurastrum leptocladum</i>		X	
Zigofícea	<i>Staurastrum chaetoceras</i>	X	X	
Zigofícea	<i>Staurastrum</i> af. <i>gracile</i>	X		
Zigofícea	<i>Staurastrum gracile</i> var. <i>nanum</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum leave</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum nova-terrae</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum tetracerum</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum muticum</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum glabrum</i>			X
Zigofícea	<i>Staurastrum</i> af. <i>sebaldi</i>		X	
Zigofícea	<i>Staurastrum</i> af. <i>natator</i>		X	X
Zigofícea	<i>Staurastrum</i> sp3	X	X	
Zigofícea	<i>Staurodesmus dejectus</i> var. <i>dejectus</i>	X		X
Zigofícea	<i>Staurodesmus dejectus</i> var.1			X
Zigofícea	<i>Staurodesmus</i> af. <i>mamilatus</i>		X	
Zygoíceas	<i>Arthrodesmus octocornis</i>	X	X	
Zigofícea	<i>Arthrodesmus divergens</i>		X	
Clorofícea	<i>Oedogonium</i> sp		X	
Clorofícea	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	X	X	X
Clorofícea	<i>Crucigenia</i> sp1	X	X	
Clorofícea	<i>Tetraedron</i> sp1	X		
Clorofícea	<i>Coelastrum reticulatum</i>	X		X
Clorofícea	<i>Coelastrum microporum</i>		X	
Clorofícea	<i>Botryococcus braunii</i>		X	X
Clorofícea	<i>Sphaerocystis</i> sp1	X	X	X
Clorofícea	<i>Pseudosphaerocystis</i> sp1		X	
Clorofícea	<i>Planktosphaeria</i> sp1	X	X	X
Clorofícea	<i>Oocystis</i> sp1	X	X	
Clorofícea	<i>Nephrocitium agardianum</i>	X	X	X

CUADRO 3
Especies del fitoplancton presentes en la laguna de Fúquene y en los embalses de Neusa y Prado

TABLE 3
Phytoplanktonic species present in Fúquene lagoon and in Neusa and Prado dams

División	Especie	Fúquene	Neusa	Prado
Cloroficea	<i>Nephrocytium limneticum</i>		X	X
Cloroficea	<i>Nephrocytium lunatum</i>		X	
Cloroficea	<i>Kirchneriella</i> sp1		X	
Cloroficea	<i>Scenedesmus bijugus</i>	X	X	X
Cloroficea	<i>Scenedesmus bijugus</i> af. var. <i>disciformis</i>	X	X	
Cloroficea	<i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>quadrispina</i>	X		
Cloroficea	<i>Scenedesmus acuminatus</i> var. <i>acuminatus</i>	X		
Cloroficea	<i>Scenedesmus acuminatus</i> var. <i>minutus</i>	X		
Cloroficea	<i>Scenedesmus</i> sp1	X		X
Cloroficea	<i>Scenedesmus</i> sp2			
Cloroficea	<i>Selenastrum</i> sp1	X	X	
Cloroficea	<i>Ankistrodesmus spirale</i>	X		
Cloroficea	<i>Actinastrum gracillium</i>	X		X
Cloroficea	<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duplex</i>	X		
Cloroficea	<i>Pediastrum tetras</i>	X	X	
Cloroficea	<i>Pediastrum boryianum</i>	X		

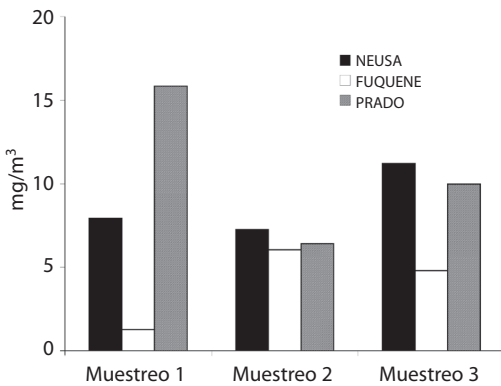


Fig. 4. Concentración promedio de clorofila a en los ecosistemas estudiados.

Fig. 4. Mean chlorophyll a concentration in the ecosystems studied.

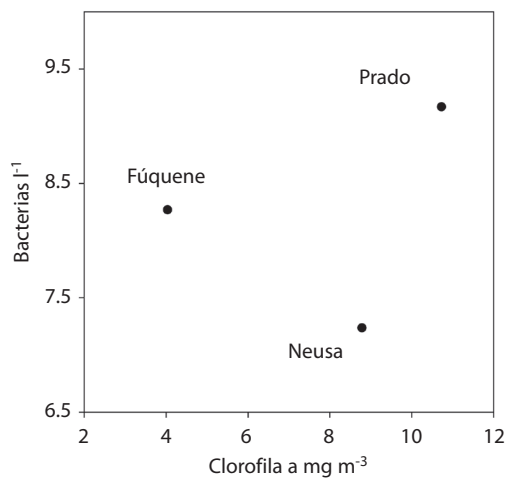


Fig. 5. Relación entre los promedios de abundancia bacteriana total y clorofila a en los ecosistemas estudiados.

Fig. 5. Mean relationships between total bacterial abundance and chlorophyll a in the ecosystems studied.

DISCUSIÓN

Las variables fisicoquímicas mostraron que cada ecosistema es de características limnológicas distintas, lo que aparentemente influyó en la presencia y abundancia del fitoplancton pero no en la densidad del bacterioplancton. Los conteos totales de bacterias fueron similares en los tres ambientes con las dos técnicas empleadas (Prueba de Kruskal-Wallis= 2.1218, $p=0.3461$, $n=9$). Las densidades bacterianas encontradas en la columna de agua fueron similares a las de las regiones templadas. Benner *et al.* (1995), Pace and Cole (1996), Posch *et al.* (1997) y Tuomi *et al.* (1997) hallaron abundancias numéricas semejantes y poca variación cuando se estudian sistemas acuáticos muy diversos; algunos de estos trabajos sólo registran diferencias entre aguas oxigenadas y anóxicas. Según Cole *et al.* (1993) y Biddanda *et al.* (2001), la abundancia bacteriana en diferentes ecosistemas acuáticos varía solamente en uno a dos órdenes de magnitud (10^4 a 10^5 células ml^{-1}), de manera similar a lo encontrado en este trabajo. No obstante, la actividad bacteriana tiende a aumentar con el incremento en el estado trófico (Biddanda *et al.* 2001, Porter *et al.* 2004). Las densidades más altas halladas en el embalse de Prado, de aguas mesotróficas, quizás estén relacionadas con la mayor temperatura de sus aguas. La imposibilidad de encontrar una relación clara entre la abundancia numérica de bacterias y el estado trófico de los cuerpos de agua estudiados, posiblemente refleje que los cambios en la cantidad y tipo de nutrientes afectan más la estructura de la comunidad bacteriana a través, por ejemplo, del aumento o la disminución de poblaciones específicas.

A diferencia del bacterioplancton, la abundancia del fitoplancton varió de acuerdo con el estado limnológico de cada sitio. El bajo número de especies y la alta densidad en el embalse de Prado, así como la presencia de taxones indicadores de eutrofia y materia orgánica como algunas cianobacterias (*Anabaena raciborski*), zigofíceas (*Staurastrum* af. *natator*) y clorofíceas (*Crucigenia tetrapedia*), están en concordancia con sus condiciones eutróficas.

En Fúquene la densidad de algas fue notoriamente menor debido a las condiciones de oligo a mesotrofia encontrados durante el desarrollo del estudio; las desmicias fueron variadas pero escasas por la alta mineralización de sus aguas, ya que las algas de este grupo prefieren ambientes de baja conductividad (Duque and Donato 1992). En Neusa prosperaron algunas especies de ambientes más transparentes y pobres en fósforo (cuadro 3), como por ejemplo las diatomeas, en especial una especie del género *Synedra*.

El dendograma de similitud del fitoplancton (Fig. 3) mostró que efectivamente cada ecosistema tiende a tener una composición de especies característica. Las condiciones oligo a mesotróficas más cercanas entre el embalse de Neusa y la laguna de Fúquene se reflejan en cierto grado de similitud que se presenta entre estos dos ambientes. De esta manera, la estación 1 de Fúquene (entrada del afluente) se asemeja en su composición y abundancia a las estaciones del Neusa.

La correlación entre las abundancias del fitoplancton y el bacterioplancton total (Pearson= -0.4479, $p=0.019$, $n=27$) indicó que las bacterias disminuyen cuando las algas aumentan, lo que podría mostrar algún fenómeno de competencia entre las dos comunidades, posiblemente por fósforo (Niño 2003). Biddanda *et al.* (2001) hallaron una mayor participación de bacterias en la biomasa planctónica total de aguas oligotróficas que eutróficas, lo que según los autores señalaría carencia de ensamblaje entre éstas y las algas. En este trabajo no se encontraron relaciones positivas entre las dos comunidades, a pesar de estudiar cuerpos de agua con variado estado trófico, por lo que puede decirse que los resultados evidenciaron un acoplamiento débil o inexistente entre bacterias y fitoplancton. Además, la correlación entre bacterias y DBO_5 , indica que la materia orgánica parece ser un sustrato importante para el bacterioplancton, lo que hace pensar que bacterias y fitoplancton responden independientemente a los nutrientes y elementos presentes en el agua. Una visión similar de reducido acoplamiento entre las dos

comunidades se puede deducir de la Fig. 5, en la que no se ve un patrón claro de relación entre la concentración de pigmentos fotosintéticos de las algas y la abundancia de bacterias. La relación positiva entre el fitoplancton y las bacterias heterótrofas (Pearson=0.3866, p=0.062, n=24) fue débil (aceptable solo al 90% de confianza) y puede deberse más a efectos azarosos.

Sería importante indagar cuáles son los mecanismos de control de ambas comunidades. Los resultados muestran que no solo la disponibilidad de sustrato favorece o limita su desarrollo, probablemente factores como la depredación por zooplancton y la lisis viral puedan explicar esta falta de acoplamiento. Un mayor número de muestreos en escala vertical y horizontal, así como en frecuencia temporal, que involucren un mayor grupo de microorganismos participantes en las cadenas tróficas acuáticas, permitirán visualizar mejor cómo se dan las interacciones entre el bacterioplancton y el fitoplancton en los ecosistemas tropicales estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano y por COLCIENCIAS mediante el contrato RC 124-96. Los autores agradecen a estas instituciones, en especial a Roberto Quiñones, ex-asesor del Programa de Medio Ambiente y Hábitat de COLCIENCIAS y a las personas del Laboratorio de Microbiología y del Centro de Investigaciones Científicas y Estudios Ambientales de la Universidad, que participaron directa e indirectamente en el trabajo, particularmente a los pasantes de microbiología Carolina García y Juan Pablo Niño.

RESUMEN

Analizamos las fracciones de fitoplancton y bacterioplancton en tres ecosistemas lénticos (los embalses de Neusa y Prado y la laguna de Fúquene), con características fisicoquímicas distintas, a fin de verificar el acoplamiento entre estas comunidades. Las muestras se tomaron en tres sitios de cada cuerpo de agua, en tres visitas de muestreo. El embalse de Neusa (meso a oligotrófico) mostró la menor

concentración de bacterias; el embalse de Prado (eutrófico) tuvo una alta abundancia, tanto de algas como de bacterias. La laguna de Fúquene (oligo a mesotrófica) tuvo bajas concentraciones de fitoplancton, pero relativamente altas concentraciones de bacterias, debido a sus condiciones particulares de elevada concentración de materia orgánica y cantidades bajas de nutrientes en el agua. Se presentó una relación negativa entre el bacterioplancton total y el fitoplancton (Person= -0.4479, p=0.019, n= 27) y positiva entre el fitoplancton y las bacterias heterótrofas (Pearson= 0.3866, p=0.062, n= 24) y entre las bacterias y la materia orgánica (Pearson= 0.4088, p=0.034, n= 27). El bacterioplancton total y el fitoplancton no mostraron "acoplamiento", pero las bacterias cultivables y el fitoplancton tuvieron algún grado de interrelación.

Palabras clave: Bacterioplancton, fitoplancton, región Andina, Colombia.

REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Pollution Control Federation (WPCF). 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. United Book. Baltimore, EEUU.
- Benner, R., S. Opsahl, G. Chin-Leo, J. Richey & B. Forsberg. 1995. Bacterial carbon metabolism in the Amazon river system. *Limnol. Oceanogr.* 40: 1262-1270.
- Biddanda, B., M.Ogdahl & J. Cotner. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. *Limnol. Oceanogr.* 46: 730-739.
- Blalock, H. 1979. *Social Statistics*. McGraw Hill, Nueva York, EEUU.
- Canosa, A. & G. Pinilla. 1999. Bacteriological eutrophication indicators in four colombian water bodies (South America). *Lakes Reserv. Res. Manage.* 4:23-27.
- Canosa, A. & G. Pinilla. 2001. Total bacterial populations in three lentic water bodies of the Colombian Andes using the epifluorescence technique. *Lakes Reserv. Res. Manage.* 6:169-174.
- Canosa, A. 2003. Distribución de virus y bacteriófagos y su relación con las bacterias y los coliformes en tres cuerpos de agua lénticos de la región central de Colombia. Informe final Universidad Jorge Tadeo Lozano y Fundación para la Promoción de la Ciencia y de la Tecnología del Banco de la República. Bogotá, Colombia. 31p.
- Cole, J., M. Pace, N. Caraco & G. Steinhart. 1993. Bacterial biomass and cell size distributions in lakes: More and

- larger cells in anoxic waters. *Limnol. Oceanogr.* 38: 1627-1632.
- Coveney, M. & R. Wetzel. 1995. Biomass, production, and specific growth rate of bacterioplankton and coupling to phytoplankton in an oligotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 40: 1187-1200.
- Currie, D.J. 1990. Large-scale variability and interactions among phytoplankton, bacterioplankton, and phosphorous. *Limnol. Oceanogr.* 35: 1437-1455.
- Del Giorgio, P.A., J.J. Cole & A. Cimleris. 1997. Respiration rates in bacteria exceed phytoplankton production in unproductive aquatic systems. *Nature* 385: 148-151.
- Duque, S. 1996. Caracterización de ecosistemas acuáticos epicontinentales de Colombia con base en el fitoplancton. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, Colombia. 25 p.
- Duque, S. & J. Donato. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuadernos Divulgativos Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 21 p.
- Goecke K., C. Hernández, H. Giesenhagen & H. Hoppe. 2004. Seasonal variations of bacterial abundance and biomass and their relation to phytoplankton in the hypertrophic tropical lagoon Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *J. Plankton Res.* 26:1429-1439.
- Gómez, M. & G. Pinilla. 1996. Efectos de la elodea (*Egeria densa*) en la laguna de Fúquene durante el primer semestre de 1993. p. 161-180 *In* G. Pinilla (ed.) Memorias del Seminario Taller "Investigaciones Limnológicas Recientes en Ecosistemas Acuáticos Tropicales". Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Hammer, O., D.A.T. Harper & P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics software for education and data analysis. *Paleontol Electrónica* 4:9
- Havens, K.E., K.A. Work & T.L. East. 2000. Relative efficiencies of carbon transfer from bacteria and algae to zooplankton in a subtropical lake. *J Plankton Res.* 22: 1801-1809.
- Kepner, R. & J. Pratt. 1994. Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present. *Microbiol. Rev.* 58: 603-615.
- Lund, J.W., C. Kipling & E.D. Le Cren. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Márquez, G. & G. Guillot. 1988. Proyecto estudios ecológicos de embalses colombianos. Etapa Prospectiva, Informe Final. Fondo FEN. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 242p.
- Niño, J. P. 2003. Variación espacio-temporal del nitrógeno y el fósforo en el embalse del Neusa. Tesis Maestría Biología-Ecología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.. 70 p.
- Pace, M. & J. Cole. 1996. Regulation of bacteria by resources and predation tested in whole-laked experiments. *Limnol. Oceanogr.* 41: 1448-1460.
- Pinilla, G. 1998. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. 67 p.
- Pino, J.C. 1995. El fitoplancton y el estado trófico de los embalses de Chuza, Neusa y Tominé. Tesis, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. 82 p.
- Porter J, S. A. Morris & R. W. Pickup. 2004. Effect of trophic status on the culturability and activity of bacteria from a range of lakes in the English Lake District. *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 2072-2078.
- Posch, T., J. Pernthaler, A. Alfreider & R. Psenner. 1997. Cell-specific respiratory activity of aquatic bacteria studied with the tetrazolium reduction method, cyto-clear slides, and image analysis. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 867-873.
- Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 207 p.
- Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 259 p.
- Rosenstock, B. & M. Simon. 2001. Sources and sinks of dissolved free amino acids and protein in a large and deep mesotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 46: 644-654.
- Tuomi, P., T. Torsvik, M. Heldal & G. Bratbak. 1997. Bacterial population dynamics in a meromictic lake. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 2181-2188.
- Vrede, F., T. Vrede, A. Isaksson & A. Karlsson. 1999. Effects of nutrients (phosphorus, nitrogen, and carbon) and zooplankton on bacterioplankton and phytoplankton –a seasonal study. *Limnol. Oceanogr.* 44: 1616-1624.
- Whitford, L. A. & Schumacher, G. J. 1968. A manual of the freshwater algae in North Carolina. Raleigh, North Carolina, EEUU.